

Bir dağıtım ağında stokastik stok yönetimi modelinin oluşturulması ve doğrulanması

Dilay ÇELEBİ*, Demet BAYRAKTAR

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İşletme Mühendisliği Programı, 34367, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu çalışmanın amacı, bir dağıtım ağı için çok dönemli sipariş büyüklüğü belirleme problemi için bir stok yönetim modeli oluşturulması ve oluşturulan bu modelin benzetim ile doğrulanmasıdır. Çalışmada, merkezi bir depo ve N adet bayi ile çalışan iki aşamalı bir dağıtım ağında tüm yönetimin tek bir merkezden gerçekleştirildiği bir stokastik stok yönetim sistemi ele alınmıştır. Bayiler malları doğrudan ve yalnızca bir dağıtıcıdan karşılarken, dağıtıcı stoklarını dış bir tedarikçiden yenilemektedir. Ulaştırma kaynakları kısıtlardan dolayı tüm üyelerin dönemsel stok takibi yaptığı ve planlama süresinin tüm üyeler için aynı olduğu kabul edilmiştir. Stok bulundurma maliyetleri zamana bağlı olarak hesaplanmaktadır. Karşılanamayan tüm talepler daha sonra karşılanmak üzere bir bekleme listesine alınmakta ve hem zamana, hem de karşılanamayan talep sayısına bağlı olarak maliyetlendirilmektedir. Bayilerde ve depoda bulundurulan stok miktarı bir üst sınır seviyesi ile kısıtlanmıştır. Bayiler aynı maliyet yapılarına ve stok yenilenme dönemlerine sahiptirler fakat farklı talep ve maliyet parametrelerine bağlı olarak benzer olmadıkları düşünülmüştür. Varsayılan bu sistemin modellenmesi, sistemin bayi, dağıtıcı ve taşıma olarak belirlenen üç ayrı bileşenin önce ayrı olarak ele alınması ve ardından ortak kısıtlar ve değişkenler aracılığıyla merkezi sistem için bütünleştirilmesi yoluyla yapılmıştır. Daha sonra geliştirilen bu modelin doğruluğu deneylerle gösterilmiş ve sunulan modelin varsayımların önerdiği sistem için geçerliliği kesikli benzetim kullanılarak incelenmiştir. İstatistik testler modelin varsayılan sistemi yansıtmada başarımının yüksek olduğu ve varsayılan sistemin iyileştirilmesi için kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Stok yönetimi, dağıtım ağı, kesikli benzetim.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Dilay ÇELEBİ. celebid@itu.edu.tr; Tel: (212) 293 13 00.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İşletme Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Stochastic lot sizing in a centralized distribution network" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 09.05.2008 tarihinde dergiye ulaşmış, 04.07.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.11.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Stochastic modeling of inventory control problem in a distribution network and verification of the model

Extended abstract

We focus on a multi period stochastic lot sizing problem in a two-echelon distribution network which operates under a Push Control System (PCS). The PCS is an integrated inventory control system for the supply chain, in which the supplier decides on the appropriate inventory levels of each product and on the inventory policies to maintain these levels. The main assumption of the push control system is centralized control and availability of end-item demand information. Suppliers monitor retailers' inventory levels in order to decide order quantities, shipping and timing of replenishment orders. A push control system allows chain members directly benefit from minimization of distortion of demand information (known as the bullwhip effect) which is transferred from downstream supply network members to upstream members (Çetinkaya and Lee, 2000). As a result, it becomes possible to reduce the stock out situations and inventory carrying costs, while increasing the customer service levels. Moreover, centralization of inventory decisions provides a reduction in the variability of system parameters, so makes it possible to deal with time varying demand without much complexity.

Existing methods for the evaluation of periodic review, two-echelon policies are usually developed for systems with lead times of integer multiples of periods. This study is concerned with a system where review periods are longer than the replenishment lead times, in other words lead times are multiples (not necessarily integer) of period lengths. In such a case, determination of the order-up-to levels is not only dependent on demand distribution over lead times but also expected inventory levels through the period. Also, inventory carrying costs are charged not on the ending inventory levels of periods but on the average inventory levels of the periods. We assume two types of backorder costs: (1) per unit short, and (2) per unit short per time. When considering the two-echelon situation, we include transportation costs in terms of unit variable transportation costs and fixed batch costs for flow of the products from warehouse to retailers.

We study a two-echelon distribution inventory system with a single central warehouse and N retailers.

Retailers directly order from the warehouse to replenish their stocks where warehouse replenishes its stock from an outside supplier. All facilities follow a periodic inventory order policy where the length of planning periods are the same for all retailers as well as at the warehouse. We analyzed the retailer, warehouse and transportation components and combined them in to a total system model by system constraints and use of common variables.

We developed a simulation model to test the mathematical model. The statistics of interest are determined as: retailer(s)' average inventory level, warehouse's average inventory level, retailer(s)' average backorder level, average number of backorders, and total system cost. The simulation is run 80 times for 20 periods for each experiment and mean and standard variation values of the selected statistics are collected. These values are then compared to the values determined by the mathematical model. The results show that the representation of given periodic review system by mathematical model is acceptable, since mathematically obtained values of most of the given variables are in acceptance region with a 5% type I error, which corresponds to a 95% confidence interval. This model can be used for estimation of cost figures and effects of changes in system parameters by a "what-if analysis" in similar practical situations. Moreover, it can be used in an inventory control optimization problem to determine the optimal lot sizes under given assumptions.

The contribution of the study is the novel mathematical model structure which is suitable for handling systems with both longer and shorter lead times than the period length. The model captures the complex cost structures like piecewise linear transportation costs, fixed costs, inventory holding costs, and two types of shortage costs. We present different formulations for obtaining expected values of the parameters depending on the parameter characteristics and assumptions. For example, the expected number of back-orders is evaluated by the distribution of the demand during lead times of retailers and distributor plus the period length. Also, developed model is comprehensive in means of cost parameters handled and it can be easily simplified according to the needs of the business environment.

Keywords: Inventory control, distribution network, discrete simulation.

Giriş

İşletmelerin toplam maliyetleri içinde önemli bir paya sahip olan stokların doğru yönetimi, rekabet şartlarının ağırlaştığı son zamanlarda verimliliğin artırılmasında etkili bir kriter olmuştur.

Üretim/dağıtım sistemi büyüdükçe, ürün çeşidi arttıkça tedarik, talep ve ürüne ilişkin faktörlerdeki belirsizlik ve aralarındaki ilişkinin karmaşıklığı stok bulundurmaya zorunlu kılar. Bu noktada, rasyonel davranmak isteyen bir işletme, stokların sağladığı katkılarla sebep oldukları maliyetler arasında, ekonomik bir denge kurarak, minimum maliyet sağlayacak en iyi stok seviyelerini tespit etmek durumundadır. Bu dengenin kurulabilmesi için, stokların maliyetler ve başarımlar üzerindeki etkileri ve sistemin kısıtlarının doğru olarak tanımlanması ve stok yönetim politikalarının buna göre oluşturulması gerekir.

Bu çalışmada, tüm stok yönetiminin tek bir merkezden gerçekleştirildiği iki aşamalı bir dağıtım ağında çok dönemli stokastik stok yönetim sistemi ele alınmıştır. *İtme* sistemi olarak da bilinen bu sistemde, dağıtıcı her ürünün uygun stok seviyelerini belirleyerek, dağıtım ve siparişlerini bu seviyelere göre ayarlar. *İtme* sisteminin en önemli varsayımı son tüketiciden gelen talep bilgisinin eş zamanlı olarak dağıtıcı tarafından izlenebilmesidir. Dağıtıcı, kendi stok seviyelerini yönetmek ve bayilere yapılacak dağıtımların zaman ve büyüklüklerini belirlemek için son tüketiciye ait talep bilgilerini kullanır. Tedarik zinciri başarımının artışı için kullanılan ortaklıklar içinde son zamanlarda çok tartışılan konulardan biri olan Tedarikçi Yönetimli Stok (Vendor Managed Inventory) sistemi *İtme* sistemleri için uygun bir örnektir (Waller vd., 1999).

Bir *itme* sisteminde tedarik zinciri üyeleri, talep değişkenliklerinin zincirin yukarı halkalarına doğru çıkıldıkça artması olan *kamçı etkisinin* azaltılması ile doğrudan fayda sağlayabilir (Çetinkaya ve Lee, 2000). Böylece, müşteri hizmet seviyeleri yükseltilirken, talebin karşılanmadığı durumların ve ortalama stok seviyelerinin azaltılması mümkün olabilir. Bunun ya-

nında, talebin değişkenliğinin azaltılması, sistemin değişkenliğini azaltarak stok yönetiminde değişkenlikten kaynaklanan karmaşıklığı oldukça azaltabilir.

Problem tanımı

Çok seviyeli, çok dönemli merkezi stok yönetim sistemleri üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi Clark ve Scarf (1960) tarafından geliştirilen dönemsel takip yöntemidir. Çalışmalarında, *basamak (echelon) stok* kavramını önermiş ve geliştirdikleri sistemin seri zincirler için optimal olduğunu göstermişlerdir. Aynı sistemin dağıtım ağlarında kullanımı için ağına birçok seri sisteme ayrılarak incelenebileceğini, fakat bunun yalnızca bir yaklaştırma algoritması olacağını da belirtmişlerdir. Geliştirdikleri bu yöntem halen uygulama ve teoride çok sık kullanılan *Denge Varsayımı (Balance Assumption)*'nin temelini oluşturmuştur.

Tan (1974) bayiler arasında ulaştırma maliyetlerini de işin içine katarak T-dönemli bir dağıtım problemini, T adet bir dönemli problem olarak ele alan bir yaklaştırma yöntemi geliştirmiştir.

Federgruen ve Zipkin (1984), rassal talep altında çalışan merkezi bir depo ve birçok bayiden oluşan bir sistem için dönemsel stok yönetim modeli önermiştir. Bunun için dağıtım problemini ıraksak şekilde ele almış ve problemi sadece bir dönemlik dağıtımı optimize edecek şekilde çözmüşlerdir. Yapılan sayısal deneyler ile önerilen çözüm yönteminin başarımının, sabit maliyetlerin bulunmadığı ve talep değişkenliklerinin az olduğu durumlarda yüksek olduğunu fakat tersi durumlarda %40'a varabilen sapmalar olduğunu bulmuşlardır.

Cachon (2001) parti büyüklükleri ile çalışan dönemsel bir dağıtım sisteminin stok yönetimini incelemiştir. Kurulan modelin geçerliliğini yanıtlamak için sekiz ayrı senaryo oluşturmuş, daha sonra oluşturulan bu senaryoların tümü için sistem maliyetlerini en azlayacak sipariş noktalarını hesaplamıştır. Bu hesaplamalar için bir çok yaklaştırma algoritması kullanmış ve sonuç olarak hiçbir yöntemin tüm senaryolar için diğerle-

rinden üstün olmadığını göstermişlerdir. Sabit sipariş maliyetlerinin bulunduğu ve deponun stok taşıyabilir olduğu karmaşık sistemler için mevcut kolay hesaplanabilir bir çözüm yöntemi bilinmemektedir.

Bu çalışmada merkezi bir depo ve N bayi ile çalışan iki aşamalı bir dağıtım ağı ele alınmıştır. Bayiler malları doğrudan ve yalnızca bir dağıtıcıdan karşılarken, dağıtıcı stoklarını dış bir tedarikçiden yenilemektedir. Bu dış tedarikçinin sonsuz kapasitesi olduğu veya çok yüksek hizmet seviyeleri ile çalıştığı, bu yüzden tedarikçi tarafından kaynaklanan gecikmelerin olmadığı varsayılmıştır. Ulaştırma kaynakları kısıtlardan dolayı tüm üyelerin dönemsel stok takibi yaptığı ve planlama süresinin tüm üyeler için aynı olduğu kabul edilmiştir.

Bayilerin, müşterilerin ihtiyaçlarına en uygun ürünleri belirleyen ve satış sonrası destek sağlayan satış acenteleri olarak çalıştığı, bu sebeple müşterilere yalnızca bayiler aracılığıyla ulaşıldığı düşünülmüştür. Müşteri talep büyüklüklerinin planlama dönemleri arasında değişiklik gösterdiği fakat bir dönem içinde sabit bir oranda Poisson dağılım gösterdiği varsayılmıştır. Bir planlama döneminin süresinin kısa olduğu ve satış tahminlerinin, örneğin zaman serisi analizleri gibi, dönemsel olarak belirlendiği durumlarda bu varsayım gerçekçi bir yaklaşım getirmektedir. Modelde Poisson dağılım verilen bir dönem içindeki değişkenliklerin etkilerini ölçümlemek için kullanılmaktadır, fakat Poisson yerine biriken dağılım fonksiyonu hesaplanabilen herhangi bir kesikli dağılım kullanılabilir.

Stok bulundurma maliyetleri zamana bağlı olarak hesaplanmaktadır. Karşılanamayan tüm talepler daha sonra karşılanmak üzere bir bekleme listesine alınmakta ve hem zamana hem de karşılanamayan talep sayısına bağlı olarak maliyetlendirilmektedir. Dağıtıcı, son müşteriye ait talep bilgilerini eş zamanlı olarak izleyebilmektedir ve stok seviyelerini buna göre ayarlamaktadır. Bayilerde ve depoda bulundurulacak stok miktarı bir üst sınır seviyesi ile kısıtlanmıştır. Bayiler aynı maliyet yapılarına ve stok yeni-

lenme dönemlerine sahiptirler fakat farklı talep ve maliyet parametrelerine bağlı olarak benzer olmadıkları düşünülmüştür.

Son olarak, malların akışı her zaman dağıtıcıdan bayiye doğru olmaktadır: bayiler arasında veya geri doğru bir mal akışı mümkün değildir. Tüm tedarik zamanları sabittir ve önceden belirlenmiştir.

Modelin kurulması

Toplam maliyetler her dönemde *beklenen toplam stok bulundurma, sipariş ve yoksatma* maliyetlerinin toplamı şeklinde tanımlanmıştır.

Model kurulurken aşağıda verilen simgeler kullanılmıştır:

N	Bayi sayısı
T	Dönem sayısı
x_n^t	t. dönem başındaki stok seviyesi
q_n^t	t. dönemdeki sipariş miktarı
Q^t	t. dönemdeki toplam dağıtım miktarı
y_n^t	t. dönemdeki yenileme sonrası stok seviyesi, $y_n^t = x_n^t + q_n^t$
h_n^t	Stok bulundurma maliyeti
$\hat{\pi}_n^t$	Zamana bağlı birim yoksatma maliyeti
$\hat{\pi}_n^t$	Birim yoksatma maliyeti
c	Birim ürün maliyeti
K_n	Sabit sipariş maliyeti
κ_n	Sabit nakliye maliyeti
ς_n	Değişken nakliye maliyeti
ℓ_n	Temin süresi
θ	Parti büyüklüğü
λ_n^t	t. dönemdeki talep oranı
$P(X)$	X olayının olasılığı

Alt simge n ile tanımlanan her değişken, dağıtım ağının n . üyesini temsil etmektedir. Dağıtıcı için $n=0$, bayiler için $n=1,2,...,N$ kullanılmıştır.

Hem depoda, hem de bayilerde, birim zamanda birim stok taşıma maliyeti $h_n c$ $h_i v_i$ birim olarak belirlenmiştir. Karşılanamayan talepler sonu-

cunda iki ayrı maliyet oluşmaktadır. Bunlardan ilki, $\hat{\pi}_n c$ ile gösterilen ve zamana bağlı olarak değişen ve ortalama yoksatma miktarına göre belirlenen maliyettir. Bu birim, talebin karşılanmaması sonucu kaybedilen kar üstünden oluşan fırsat maliyetlerini ve müşteri memnuniyetinden kaynaklanan maliyetlerini içermektedir. İkinci yoksatma maliyeti karşılanamayan talep adedi üstünden verilmiştir. Simge olarak π ile gösterilen bu birim de yoksatma durumunda ortaya çıkan operasyonel ve ulaştırma maliyetlerini temsil etmektedir.

Son müşteri talebinin yalnızca bayi noktalarında gerçekleştiği ve bayilerin depoya doğrudan sipariş vermediği, fakat dağıtım miktarlarının dağıtıcı tarafından belirlendiği varsayıldığı için depoda talep karşılanmaması ile ilgili herhangi bir maliyet oluşmamaktadır.

Her dönemde, eğer deponun geçtiği bir sipariş varsa, nakliyat büyüklüğünden bağımsız olarak sabit bir maliyet eklenmektedir. Aynı şekilde, bayiler için de eğer bir stok yenilenmesi söz konusu ise, hem nakliyat büyüklüğünden bağımsız bir sabit maliyet, hem de ulaşıma için nakliyat büyüklüğüne göre kesikli doğrusal olarak belirlenen bir ulaştırma maliyeti oluşmaktadır.

Buna göre tüm sistemin, tüm dönemler için toplam maliyeti aşağıda verildiği şekilde gösterilebilir:

$$\sum_{t=1}^T \left\{ TC_0(x_0^t, y_0^t, Q^t) + \sum_{n=1}^N [TC_n(x_n^t, q_n^t) + TR(q_n^t)] \right\} \quad (1)$$

Yukarıda gösterilen formülde TC_0 , deponun bir dönem içinde, başlangıç stok seviyesine, o dönemde verilen sipariş miktarına ve bayilere dağıtılan toplam mikata göre belirlenen maliyet fonksiyonunu temsil etmektedir. Benzer şekilde TC_n , n . bayinin bir dönemlik stok bulundurma, yenileme ve yoksatma maliyetlerini içermektedir. Son olarak verilen TR , depodan bayiye q_n^t birim ürün taşınmasının ulaştırma maliyetidir.

Bayilerin stok maliyetlerinin çözümü

Bu bölümde, tüm bayilerin maliyet yapısı açısından benzer olduğu düşünülerek, gösterim ko-

laylığı için altsimge n kullanılmamıştır. Bir bayinin, dönemlik stok bulundurma, yenileme ve yoksatma maliyetleri aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanabilir:

$$TC(x, q) = \delta(q) + hc\bar{I}^+(y) + \hat{\pi}c\bar{I}^-(y) + \pi B(y) \quad (2)$$

Bu fonksiyonda $\delta(q)$ nakliyat büyüklüğünden bağımsız olarak eklenen sabit maliyetleri temsil etmektedir.

$$\delta(q) = \begin{cases} K + cq & q > 0 \\ 0 & q = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$\bar{I}^+(y)$ ve $\bar{I}^-(y)$ sırasıyla beklenen ortalama stok ve yoksatma miktarını, $B(y)$ ise beklenen karşılanamayan talep sayısını temsil etmektedir.

Bu değerler, bir dönem uzunluğu birim zaman olarak alındığında, aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır:

$$B(y) = \sum_{u=y}^{\infty} (u - y) P(D(1 + \ell_0 + \ell_n) = u) \quad (4)$$

$$I^-(\tau, y) = \sum_{i=-\infty}^y \left(\sum_{u=i}^{\infty} (u - j) P(D(\tau) = u) \right) P(D(\ell_0 + \ell_n) = y - j) \quad (5)$$

$$\bar{I}^-(y) = \int_0^1 I^-(\tau, y) d\tau \quad (6)$$

$$I^+(\tau, y) = \sum_{i=0}^y \left(\sum_{u=0}^j (j - u) P(D(\tau) = u) \right) P(D(\ell_0) = y - j) \quad (7)$$

$$\bar{I}^+(y) = \int_0^1 I^+(\tau, y) d\tau \quad (8)$$

Dağıtıcının stok maliyetlerinin çözümü

Deponun bayilere gönderilecek mal miktarını kendisinin belirlemesi ve doğrudan sipariş kabul etmemesi sebebiyle toplam maliyeti yalnız stok bulundurma ve sabit sipariş maliyetlerinden meydana gelmektedir.

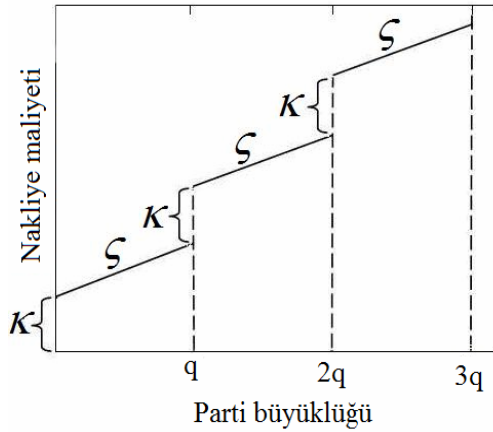
$$TC_0(x_0, q_0, Q) = \delta(q_0) + h_0 c_0 \bar{I}(x_0, q_0, Q) \quad (9) \quad Q^t \leq x_0^t + q_0^t \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (12)$$

Burada $\delta(q)$ fonksiyonu (3)'de tanımlandığı şekilde kullanılmıştır. Ortamala dönemlik stok miktarını veren $\bar{I}(x_0, q_0, Q)$ değerinin hesaplanması ise aşağıda verilmiştir:

$$\bar{I}(x_0, q_0, Q) = x_0 + q_0 - Q(1 - \ell_0) \quad (10)$$

Nakliye maliyetlerinin çözümlemesi

Bir dönemde depodan n. bayiiye gönderilen malların ulaştırması, Şekil 1'de gösterildiği gibi kesikli doğrusal bir yapıda gerçekleşmektedir. Gönderilen her bir birim için ς birimlik bir değişken maliyet, gönderilen her θ birim için ise κ birim maliyet eklenmektedir.



Şekil 1. Nakliye maliyetlerinin grafik gösterimi

Buna göre dönemlik taşıma maliyeti aşağıda verilen denklem ile hesaplanabilir:

$$TR(q) = \kappa \left\lceil \frac{q}{\theta} \right\rceil + \varsigma q \quad (11)$$

Tüm bu açıklamalara göre sistemin ilişkisel ve kapasite kaynaklı kısıtları da eklenerek aşağıdaki model elde edilir:

$$Z_{\min} = \sum_{t=1}^T (TC_0(x_0^t, y_0^t, Q^t) + \sum_{n=1}^N (TC_n(x_n^t, q_n^t) + TR(q_n^t)))$$

$$x_n^t + q_n^t \leq C_n \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \quad \forall n \in \{1, \dots, N\} \quad (13)$$

$$q_0^t \leq C_0 \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (14)$$

Burada (12) ile verilen ilk kısıt deponun bir dönemde göndereceği mal miktarını, stok seviyesi ile kısıtlayan denge kısıtıdır. (13) ve (14) sırasıyla bayilerin stok bulundurma, deponun ise sipariş büyüklüğü kapasitelerinin aşılmasını için verilmiştir.

Modelin doğrulanması

Modelin geçerliliğinin doğrulanması için bir bilgisayarlı benzetim modeli kullanılmıştır. Bayiler tarafından gözlemlenen müşteri talebi ve dağıtıcının siparişleri sanal olarak gerçekleştirilmiş ve bayi ve depo için ortalama stok seviyeleri, karşılanamayan talep sayısı ve bunlara bağlı toplam maliyetlerin ortalama değerleri elde edilmiştir.

Talebin gösterdiği düşünülen Poisson dağılımını taklit etmek için müşterilerin geliş süreleri $1/\lambda$ oranlı üssel dağılım ile oluşturulmuştur. Deponun siparişleri her dönem başlangıcından ℓ_0 dönem önce verilecek şekilde çizelgelenmiştir. Benzetim modelinin geçerliliği üç adımda gerçekleştirilmiştir. Birinci adımda, sistem değişkenleri üzerinde değişiklik yapan süreçler belirlenmiştir. Daha sonra, sistem birçok kere çalıştırılmış ve belirlenen tüm süreçler tek tek ele alınarak, girdi ve çıktı değerleri beklenen değerlerle karşılaştırılmıştır. Süreç analizinin ardından tüm sistemin tutarlılığı kontrol edilmiştir. Bunun için, benzetim modeli 1000 dönem için çalıştırılmış ve rassal olarak belirlenen zamanlarda durdurularak değişkenlerin tutarlılığı incelenmiştir. Son olarak, bu değerlerin beklenen gerçek değerler ile karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca, yapılan deneyler ile 80 yinelemeli 20 dönemlik test kümesinin % 95 güvenlik aralığı içinde, ortalama değerden % 10 sapma sağladığı belirlenmiştir.

Benzetim çalışmasının verilen sistem varsayımlarını yansıttığı ve istatistiki olarak güvenilir sonuçlar sağladığının doğrulanmasından sonra, değiştirgeler aşağıda verilen senaryo analizlerine göre çeşitlendirilmiştir:

- Talep Oranları: Bayilerin karşılaştıkları müşteri talebi ortalaması 10 olacak şekilde normal dağılımla belirlenmiştir. Buna göre, sabit, düşük değişken ve yüksek değişken olmak üzere üç farklı değişkenlik şeması incelenmiştir.
- Temin Süreleri: Aşağıda listelendiği şekilde dört ayrı temin süresi senaryosu incelenmiştir: $\ell_n = \ell_0 = 0, \ell_n = 0, \ell_0 > 0, \ell_n > 0, \ell_0 = 0$, ve $\ell_n > 0, \ell_0 > 0$.
- Sipariş Politikaları: Bayilere gönderilen parti büyüklükleri için üç ayrı yöntem incelenmiştir. Birinci Tam Talep (*Lot-for-lot*) yöntemine göre her dönemin sipariş seviyesi dönem başında stok seviyesini beklenen talep seviyesine çekecek şekilde belirlenir. İkinci yöntem olarak Wagner – Whitin algoritması seçilmiştir. Deterministik talep yapısına bağlı bu yöntemin kullanılabilmesi için talep miktarlarının ortalamaları alınmıştır. Son olarak tüm dönemler için tek ve sabit bir hedef stok seviyesi kullanılmıştır. Bu seviyenin en iyi değeri arama algoritmaları kullanılarak bulunmuştur.
- Bayi Sayıları. Testler bir, üç benzer ve üç benzer olmayan bayiler için gerçekleştirilmiştir.

Yukarıda verilen talep, temin süresi, sipariş politikası ve bayi sayılarına ait değiştirgelerin kombinasyonları ile oluşturulan 36 adet deney Tablo 1’de gösterilmiştir.

Modelin sistem değişkenleri üzerindeki etkisi maliyet değiştirgelerinden bağımsızdır. Bu sebeple, hem işlemsel kolaylık, hem de elde edilen sonuçların karşılaştırılabilir olması için bayilerin maliyet değiştirgeleri açısından benzer olduğu varsayılmış ve tüm bayiler için aynı maliyet değiştirgeleri kullanılmıştır.

Sistemin başarımlı göstergesinin ölçüleceği değerler, bayilerin ortalama stok değeri, \bar{I}^+ , deponun ortalama stok değeri, \bar{I} , ortalama yoksatma seviyesi, \bar{I}^- , karşılanmayan talep sayısı, B , ve son olarak toplam sistem maliyeti, TM seçilmiştir. Benzetim modeli her bir deney için 80 defa 20 dönemlik çalıştırılmış ve seçilen bu ölçütlerin ortalama değerleri not edilmiştir. Elde edilen değerler daha sonra matematiksel olarak hesaplanan değerler ile iki yöntem ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya yöntemlerinden ilki geleneksel hipotez testidir. Buna göre test, eğer benzetim ile elde edilen ortalama değer, matematiksel olarak elde edilen değerle aynıysa sıfır hipotez kabul edilecek şekilde tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned} H_0 : & \quad \mu_{ben} = \mu_{mat} \\ H_1 : & \quad \mu_{ben} \neq \mu_{mat} \end{aligned}$$

Her bir ölçüt için, benzetim ile elde edilen ortalama değer, matematiksel olarak hesaplanan değerle t-testi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen sonuçları gösteren grafik, Şekil 2’de verilmiştir.

Bulunan sonuçların ikisi hariç tümü % 95 güvenlik aralığı içinde bulunmaktadır. Bunun dışında kalan 15 ve 16. deneylerin ortalama stok seviyelerine ait istatistikler ise % 97 güven aralığında bulunmaktadır. Sonuç olarak sıfır hipotezi kabul edilebilir bulunmuştur.

Elde edilen bu sonuçlar ile değiştirgelerin sistem üzerine etkisi hakkında bazı çıkarımlarda bulunulabilir. Örneğin, temin sürelerinin sisteme eklenmesi durumunda, hem ortalama stok seviyeleri, hem de ortalama yoksatma seviyeleri artmaktadır. Şekil 3, temin sürelerinin toplam maliyetler ve ortalama yoksatma seviyeleri üzerindeki etkilerini göstermektedir.

Şekil 3’te deneyler bayi tedarik süreleri dışında tüm değiştirgelerinin aynı olan ikili kümelere ayrılmıştır. Örneğin, deney 1 ve deney 7’nin arasındaki tek fark birinde bayi temin süresinin bulunmaması, diğerinde ise bulunmasıdır. Şekilden de görüldüğü gibi sistem başarımlı ölçütleri-

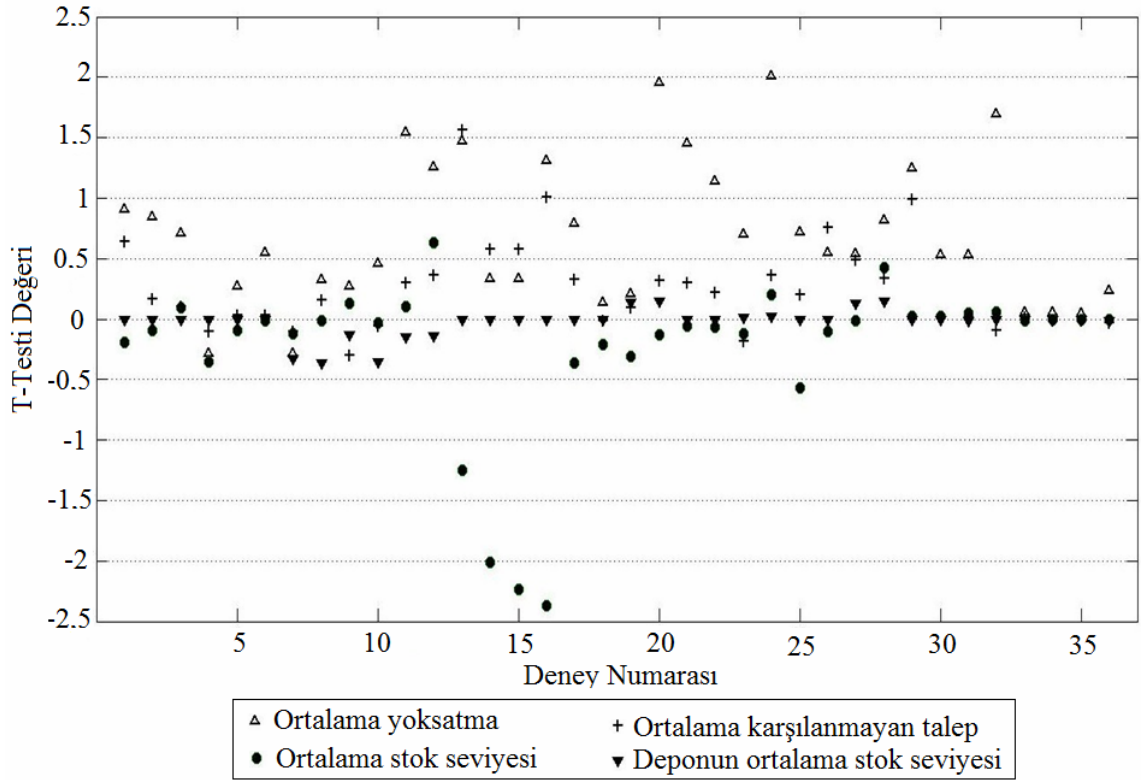
Tablo 1. Deney tasarımı

Deney. No	Bayi	ℓ_0	ℓ_n	Talep	Yöntem	Deney. No	Bayi	ℓ_0	ℓ_n	Talep	Yöntem
1	1	0	0	S	TT	19	B	0	+	DDD	TT
2	1	0	0	D	TT	20	B	+	+	DDD	TT
3	1	0	0	Y	TT	21	B	0	0	YYY	TT
4	1	+	0	S	TT	22	B	+	0	YYY	TT
5	1	+	0	D	TT	23	B	0	+	YYY	TT
6	1	+	0	Y	TT	24	B	+	+	YYY	TT
7	1	0	+	S	TT	25	BO	0	0	SDY	TT
8	1	0	+	D	TT	26	BO	+	0	SDY	TT
9	1	0	+	Y	TT	27	BO	0	+	SDY	TT
10	1	+	+	S	TT	28	BO	+	+	SDY	TT
11	1	+	+	D	TT	29	BO	0	0	SDY	WW
12	1	+	+	Y	TT	30	BO	+	0	SDY	WW
13	B	0	0	SSS	TT	31	BO	0	+	SDY	WW
14	B	+	0	SSS	TT	32	BO	+	+	SDY	WW
15	B	0	+	SSS	TT	33	BO	0	0	SDY	Sabit S
16	B	+	+	SSS	TT	34	BO	+	0	SDY	Sabit S
17	B	0	0	DDD	TT	35	BO	0	+	SDY	Sabit S
18	B	+	0	DDD	TT	36	BO	+	+	SDY	Sabit S

S = Sabit Talep, D = Düşük Değişkenlik, Y = Yüksek Değişkenlik

B = Benzer, BO = Benzer Olmayan

TT= Tam Talep, WW = Wagner-Whitin, Sabit S = Sabit hedef stok seviyesi

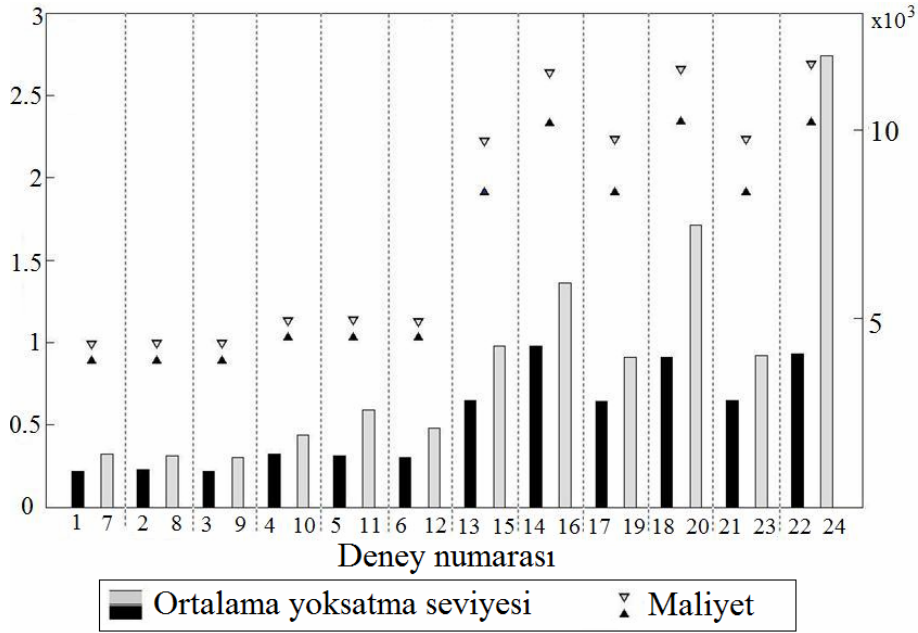


Şekil 2. Deney sonuçları

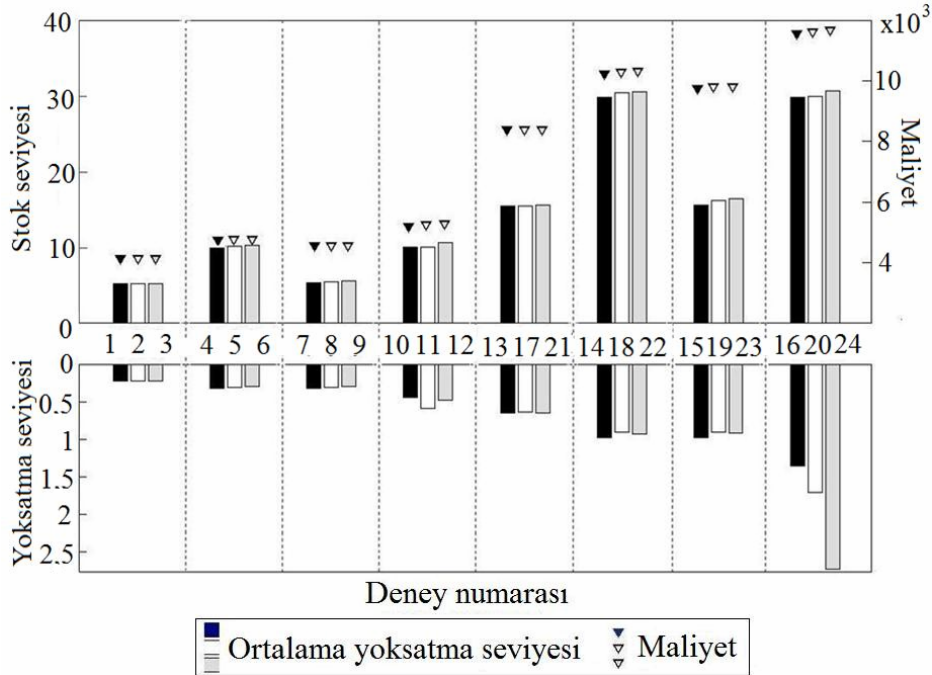
rinden hiçbirinde iyileştirme olmadan, toplam maliyetler yükselmektedir. Bu sebeple, bir tedarik zincirinde temin sürelerinin uzunluğu düşürülerek toplam zincir başarımının artırılabilceği görülmektedir.

Benzer şekilde, talep değişkenliğinin başarım ölçütleri üzerine etkisinin incelenmesi için Şekil

4'te deneyler talep değişkenlikleri dışında tüm değiştirgeleri aynı olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Her sınıf içinde birinci deney sabit talep yapısına, ikinci deney düşük değişkenliğe, üçüncü deney ise yüksek değişkenliğe denk gelmektedir. Sonuçlara bakılarak talep değişkenliğinin başarım ölçütleri üstünde baskın bir etkisi olmadığı söylenebilir.



Şekil 3. Tedarik sürelerinin etkisi



Şekil 4. Talep değişkenliğinin etkisi

En büyük etki, 16, 20 ve 24. deneyleri içeren, hem bayi hem de dağıtıcı temin sürelerinin sıfır olduğu kümede meydana gelmiştir. Fakat değişkenliğin etkisinin bu kadar az olmasının ana sebebi *mükemmel talep bilgisi* varsayımının bir sonucudur. Eğer, başarımlı düzeyi daha düşük bir tahminleme yöntemi kullanılırsa hata değerlerinin talep değişkenliğinde artışla birlikte artması beklenmektedir. Modelin toplam maliyetleri temsil yetkinliğinin ölçülmesi için beklenen değerden yüzdesel olarak sapma değeri, $\% \varepsilon$, aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$\% \varepsilon = 100 \times \frac{\mu_{ben} - \mu_{mat}}{\mu_{ben}} \quad (15)$$

Bu ölçüt daha çok yönetimin tahminleri maliyet yüzdesi olarak görmek istediği uygulamalı çalışmalar için kullanışlı olacaktır. Toplam maliyetler için alınan T-testi sonuçlarının tümü % 95 güven aralığındadır. Bunun yanında yüzdesel sapma değerleri Şekil 5'te de gösterildiği gibi, en fazla % 1.69 olarak gerçekleşmiştir. Ortalama hata değeri % 0.41 olarak hesaplanmıştır.

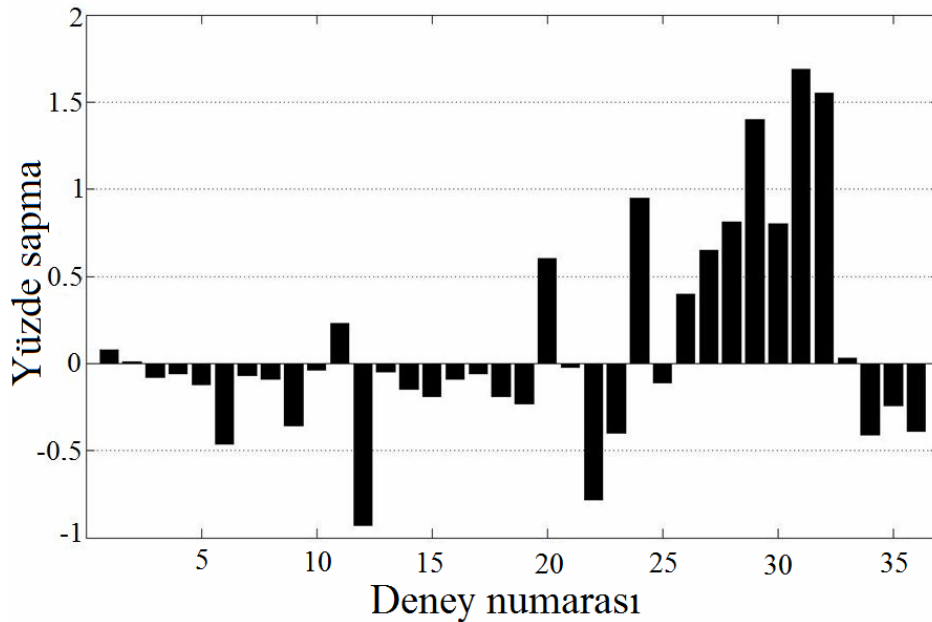
Bunun yanında, elde edilen sonuçlardan hangi stok takip yönteminin daha başarılı olduğuna dair çıkarımlar da yapılabilir. Verilen maliyet değiştirgeleri ile WW algoritmasının en düşük

maliyet değerlerini verdiğini göstermiştir. Fakat bu sonuç tamamen verilen deney kümesine özeldir ve farklı değiştirgeler tamamen farklı sonuçlar çıkarabilir. Örneğin, sabit sipariş maliyetlerinin daha düşük olduğu durumlarda sabit hedef stok seviyesi yöntemi daha başarılı olabilir.

Sonuçlar

Bu çalışmada temin sürelerinin planlama dönemi uzunluğunun gerçek katı olduğu bir dağıtım sistemi için dönemsel stok yönetim modeli incelenmiştir. Öncelikle matematiksel bir model oluşturulmuş, daha sonra bu model kesikli benzetimi yöntemi ile doğrulanmıştır. Yapılan sayısal deney çalışmasında kurulan matematiksel modelin doğruluğu istatistiki olarak gösterilmiştir. Sonuç olarak kurulan matematiksel modelin, varsayılan sistemi yansıtmada başarımının yüksek olduğu ve varsayılan sistemin iyileştirilmesi için kullanılabileceğini göstermiştir.

Bu araştırmanın stok yönetiminin teori ve uygulamasına katkısı temin sürelerinin dönem büyüklüğünden hem kısa hem de uzun olduğu dağıtım sistemlerine ait stok yönetimi problemlerini ele alabilecek yeni bir matematiksel model geliştirilmesidir. Bu model ayrıca kesikli-doğrusal ulaştırma maliyetleri, sabit maliyetler, stok bulundurma maliyetleri ve iki çeşit yok satma



Şekil 5. Hata yüzdeleri

maliyeti gibi karmaşık maliyet yapılarını ele almaktadır. Bunun yanında geliştirilen matematiksel model birçok maliyet bileşenini içinde bulundurduğu için uygulanacağı sistemin gereksinimlerine göre kolaylıkla basitleştirilebilir bir yapıdadır.

Bundan sonraki çalışmalarda kurulan modelin dinamik programlama veya meta sezgisel yaklaşımlar kullanılarak modelin çözümü gerçekleştirilecektir.

Kaynaklar

- Cachon, G.P., (2001). Exact evaluation of batch-ordering inventory policies in two-echelon supply chains with periodic review, *Operations Research*, **49**, 1, 79-98.
- Çetinkaya, S. ve Lee, C., (2000). Stock replenishment and shipment scheduling for vendor managed inventory systems, *Management Science*, **46**, 2, 217-232.
- Clark, A.J. ve Scarf, H., (1960). Optimal policies for a multi-echelon inventory problem, *Management Science*, **6**, 475-490.
- Federgruen, A. ve Zipkin, P., (1984). Approximations of dynamic multi-location production and inventory problems, *Management Science*, **30**, 69-84.
- Tan, F.K., (1974). Optimal policies for a multi-echelon inventory problem with periodic ordering, *Management Science*, **20**, 7, 1104-1111.
- Waller, M., Johnson, M.E. ve Davis, T., (1999). Vendor managed inventory in the retail supply chain, *Journal of Business Logistics*, **20**, 1, 183-203.